喷浆玉米皮的肉鸭代谢能评定

舒维成　曾秋凤*　丁雪梅　白世平　王建萍　张克英*

（四川农业大学动物营养研究所，动物抗病营养教育部重点实验室，成都 611130）

摘　要：本试验旨在评定喷浆玉米皮在樱桃谷肉鸭上的代谢能，并建立其代谢能的化学组分预测方程。试验选择体重为（3.3±0.3） kg 的 56 日龄樱桃谷肉公鸭 60 只，随机分为 6 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只鸭，其中一组作为内源组。采用真代谢能（TME）评定法，强饲单一原料，强饲量为肉鸭体重的 2%，禁食排空期为 48 h，强饲后，用集粪袋收集排泄物 48 h。结果表明，喷浆玉米皮营养组分中粗脂肪和粗纤维含量的变异较大，按照国际饲料分类方法，部分样品属于能量饲料，部分样品属于蛋白质饲料。喷浆玉米皮的表观代谢能（AME）、氮校正表观代谢能（AMEn）、TME 和氮校正真代谢能（TMEn）分别为（6.36±1.61）、（6.58±1.57）、（7.84±1.54）、（7.29±1.50） MJ/kg，变异较大，且其 TMEn 的最优预测方程为：TMEn=-0.219 NDF+16.940（R^2=0.881 4，P=0.001 7）。由此可见，不同批次喷浆玉米皮在樱桃谷肉鸭上的 AME、TME、AMEn、TMEn 存在较大差异；利用化学组分建立的喷浆玉米皮 TMEn 的预测方程决定系数（R^2）较大，说明方程具有较强的可靠性和参考意义。

关键词：喷浆玉米皮；肉鸭；代谢能；预测方程

中图分类号：S834　　　　　　　文献标识码：

我国是玉米生产大国，也是玉米的消费大国，随着饲料工业的发展和玉米加工工业的扩张，我国玉米的需求量越来越大。在玉米深加工过程中，因加工工艺的不同，会产生约 30%的副产物，如喷浆玉米皮、玉米胚芽粕、玉米干酒糟及其可溶物等。玉米湿磨后，分离玉米皮、玉米胚芽、可溶

收稿日期：2017-12-22

基金项目：现代农业产业技术体系专项资金资助（CARS-42-10）

作者简介：舒维成（1993-），男，籍贯？，硕士研究生，从事家禽营养研究。E-mail: 571847610@qq.com

*通信作者：曾秋凤，研究员，博士生导师，E-mail: zqf@sicau.edu.cn；张克英，教授，博士生导师，E-mail: zkeying@sicau.edu.cn

性蛋白及淀粉等，生产出玉米淀粉[1]。玉米淀粉生产过程中，除去玉米胚芽、可溶性蛋白及淀粉后剩余的产物，将玉米浸渍液喷到玉米皮后干燥得到喷浆玉米皮[2]。因此，喷浆玉米皮的质量与营养成分在很大程度上受到玉米浆回加比例以及干燥方式、温度及时间等因素的影响。目前，《中国饲料成分及营养价值表》(2014 年第 25 版)[3]并未给出喷浆玉米皮的营养成分。王伟[4]、典姣姣[5]和林谦等[6]分析了不同批次喷浆玉米皮的常规化学成分后发现，其粗脂肪（EE）、粗纤维（CF）、粗灰分（Ash）的变异程度较大，变异系数（CV）分别高达 73.3%、25.3%和 28.2%。进一步通过代谢能评定发现，喷浆玉米皮在蛋公鸡和蛋母鸡上的表观代谢能（AME）值分别为 7.54 和 8.26 MJ/kg[4]。但目前尚未见喷浆玉米皮肉鸭代谢能的评定研究，因此，本试验选择来自全国各地的 12 种喷浆玉米皮来评定肉鸭代谢能，并建立其代谢能的化学成分预测方程，为喷浆玉米皮在肉鸭饲粮中精准、高效利用提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1 试验材料

分别从陕西、河北、山东、东北、四川等地采集喷浆玉米皮样品 12 种。按照四分法取 1 kg 样品测定常规化学组分，其余粉碎后过 1 mm 筛片作为强饲原料备用。

1.2 试验方法

采用 Sibbald[7]的真代谢能（TME）评定方法，强饲单一原料，强饲量为肉鸭体重的 2%，禁食排空期为 48 h，强饲后，用集粪袋收集排泄物 48 h。

1.3 试验动物及饲养管理

选取 60 只 56 日龄平均体重为（3.3±0.3） kg 的成年樱桃谷肉公鸭，按照体重无显著差异（$P>0.05$）原则随机分为 6 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只鸭，其中一组为内源组，其余 5 组用于喷浆玉米皮的代谢能评定，共进行 3 批次代谢试验。试验在四川农业大学动物营养研究所教学科研实验基地代谢室进行，单笼饲养，自由饮水，24 h 光照。

1.4 测定指标及方法

测定喷浆玉米皮总能（GE，PARR 氧弹测热计）及干物质（DM，GB/T 6435—2006）、粗蛋白质（CP，GB/T 6432—1994）、CF（AOAC 962.09）、EE（AOAC 920.39）、Ash（GB/T 6438—2007）、中性洗涤纤维（NDF，GB/T 20806—2006）、酸性洗涤纤维（ADF，NY/T 1459—2007）含量。

测定排泄物总能及 DM、CP 含量，方法同饲料原料的测定方法。

喷浆玉米皮 AME、氮校正表观代谢能（AMEn）、TME 和氮校正真代谢能（TMEn）的计算方法参照呙于明[8]。

1.5　统计方法

用 SAS 9.1.3 对原料化学成分与代谢能进行相关性分析，并采用逐步回归法建立预测方程，以决定系数（R^2）和 P 值作为最优方程评定参数。P＜0.05 表示差异显著，P＜0.01 表示差异极显著。

2　结果与分析

2.1　喷浆玉米皮的化学组分

从表 1 可看出，喷浆玉米皮营养组成为：DM 含量 91.1%（89.8%~92.4%，CV 1.0%）、CP 含量 20.8%（17.0%~25.1%，CV 11.0%）、Ash 含量 5.6%（4.0%~7.5%，CV 19.3%）、CF 含量 11.0%（6.1%~14.1%，CV 21.5%）、EE 含量 2.1%（1.2%~3.1%，CV 24.9%）、ADF 含量 12.4%（9.2%~15.7%，CV 14.5%）、NDF 含量 46.6%（33.5%~59.9%，CV 15.5%）和 GE 17.02 MJ/kg（16.48~17.78 MJ/kg，CV 2.30%）。其中营养成分变异最大的是 EE，CV 为 24.9%，含量较低，平均值为 2.1%；CF 的 CV 较大，为 21.5%，且 CF 含量平均值高达 11.0%。按照国际饲料分类方法，4 号和 10 号样品属于能量饲料，其余样品属于蛋白质饲料。

表 1　喷浆玉米皮的化学组分(干物质基础）

Table 1　Chemical composition of corn gluten feed with solubles　（DM basis）

编号 Number	干物质 DM/%	粗蛋白质 CP/%	粗灰分 Ash/%	粗纤维 CF/%	粗脂肪 EE/%	酸性洗涤纤维 ADF/%	中性洗涤纤维 NDF/%	总能 GE/（MJ/kg）

1	90.9	21.5	7.2	14.1	1.5	15.7	45.9	16.55
2	91.8	19.3	6.2	12.4	2.1	14.8	52.3	17.19
3	91.9	25.1	5.0	11.4	2.3	12.9	48.0	17.40
4	91.4	17.0	4.3	10.5	2.7	12.6	44.7	17.29
5	91.9	21.1	7.5	10.0	2.3	12.2	46.2	17.06
6	92.4	19.5	5.1	7.8	2.4	9.2	33.5	17.27
7	89.9	22.7	5.9	6.1	2.4	10.5	37.3	16.60
8	89.8	21.3	6.3	9.5	2.1	10.8	42.0	16.48
9	91.0	22.3	5.2	11.2	1.5	11.8	45.2	17.13
10	91.8	17.2	4.0	13.9	3.1	12.7	59.9	17.78
11	89.8	21.4	5.0	12.5	1.2	13.6	54.6	16.66
12	90.2	21.5	5.1	12.0	1.8	12.4	50.1	16.88
平均值 Mean	91.1	20.8	5.6	11.0	2.1	12.4	46.6	17.02
标准差 SD	0.9	2.3	1.1	2.4	0.5	1.8	7.2	0.40
变异系数 CV/%	1.0	11.0	19.3	21.5	24.9	14.5	15.5	2.30
最大值 Maximum value	92.4	25.1	7.5	14.1	3.1	15.7	59.9	17.78
最小值 Minimum value	89.8	17.0	4.0	6.1	1.2	9.2	33.5	16.48

2.2 喷浆玉米皮的代谢能

因代谢试验过程中肉鸭发生呕吐或粪便收集不完整的问题，代谢能评定样品数少于实际采集的饲料样本数。从表 2 可看出，评定出的 7 种喷浆玉米皮 AME、AMEn、TME 和 TMEn 的平均值分别为 6.36（3.82~8.48 MJ/kg）、6.58（4.1~8.55 MJ/kg）、7.84（5.38~9.89 MJ/kg）、7.29 MJ/kg（4.91~9.19 MJ/kg）。7 种不同来源的喷浆玉米皮代谢能差异较大，AME 的 CV 高达 25.4%。

表 2　喷浆玉米皮的代谢能

Table 2　Metabolizable energy of corn gluten feed with solubles　　MJ/kg

编号 Number	表观代谢能 AME	氮校正表观代谢能 AMEn	真代谢能 TME	氮校正真代谢能 TMEn
1	5.63±0.73	5.87±0.63	7.10±0.71	6.54±0.63
2	3.82±1.15	4.10±1.05	5.38±1.20	4.91±1.07
3	6.60±3.65	6.69±3.59	7.95±3.68	7.29±3.60
4	6.07±0.43	6.44±0.35	7.66±0.49	7.27±0.37
5	5.72±2.72	5.89±2.50	7.28±2.68	6.71±2.48
6	8.24±1.08	8.53±0.91	9.58±1.04	9.13±0.90
7	8.48±2.88	8.55±2.71	9.89±2.88	9.19±2.71
平均值 Mean	6.36	6.58	7.84	7.29
标准差 SD	1.61	1.57	1.54	1.50
变异系数 CV/%	25.4	23.9	19.6	20.6
最大值 Maximum value	8.48	8.55	9.89	9.19
最小值 Minimum value	3.82	4.10	5.38	4.91

2.3　相关性分析及预测方程的建立

从表 3 可看出，喷浆玉米皮的 AME、AMEn、TME 和 TMEn 与 NDF、CF 和 ADF 含量呈显著

或极显著负相关（P＜0.05 或 P＜0.01），喷浆玉米皮的 CF 含量与 ADF 和 NDF 含量呈显著或极显著正相关（P＜0.05 或 P＜0.01），喷浆玉米皮的 ADF 含量与 NDF 含量呈显著正相关（P＜0.05）。

表 3　喷浆玉米皮的代谢能与化学组分的相关系数

Table3　Correlation coefficients of chemical composition and metabolizable energy in corn gluten feed solubles

项目 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	粗灰分 Ash	粗纤维 CF	粗脂肪 EE	酸性洗涤纤维 ADF	中性洗涤纤维 NDF	总能 GE	表观代谢能 AME	氮校正表观代谢能 AMEn	真代谢能 TME	氮校正真代谢能 TMEn
干物质 DM	1.000											
粗蛋白质 CP	-0.218	1.000										
粗灰分 Ash	-0.167	0.228	1.000									
粗纤维 CF	0.229	-0.029	0.305	1.000								
粗脂肪 EE	0.108	-0.267	-0.680	-0.686	1.000							
酸性洗涤纤维 ADF	-0.078	0.014	0.408	0.933^{**}	-0.690	1.000						
中性洗涤纤维 NDF	0.160	0.051	0.270	0.793^{*}	-0.327	0.850^{*}	1.000					
总能 GE	0.810^{*}	-0.207	-0.608	0.030	0.542	-0.196	0.193	1.000				
表观代谢能 AME	-0.267	0.267	-0.354	-0.813^{*}	0.397	-0.843^{*}	-0.918^{**}	-0.158	1.000			
氮校正表观	-0.247	0.209	-0.380	-0.812^{*}	0.410	-0.851^{*}	-0.935^{**}	-0.142	0.998^{**}	1.000		

代谢能 AMEn												
真代谢能 TME	-0.283	0.237	-0.351	-0.827*	0.418	-0.849*	-0.922**	-0.168	0.999**	0.998**	1.000	
氮校正真代谢能 TMEn	-0.249	0.175	-0.385	-0.829*	0.442	-0.864*	-0.939**	-0.136	0.995**	0.999**	0.998**	1.000

*表示 P<0.05，显著相关（双尾检测），**表示 P<0.01，极显著相关（双尾检测）。

* mean significant correlation at the 0.05 level (2-tailed detection)，** mean significant correlation at the 0.01 level (2-tailed detection).

从表 4 可看出，喷浆玉米皮的代谢能预测方程是以 NDF 为第一因子建立的一元方程，在此基础上，引入了 CP、EE 和 Ash 等成分后，方程的可靠性得到不同程度地提高。AME 是以 NDF 与 CP、EE 建立最优的三元预测方程（R^2=0.981 2，P=0.004 4）；AMEn 是以 NDF 与 CP、EE 建立的最优的三元预测方程（R^2=0.977 8，P=0.005 6）；TME 是以 NDF 与 CP、EE 建立的最优的三元预测方程（R^2=0.978 1，P=0.005 4）；TMEn 是以 NDF 建立的最优的一元预测方程（R^2=0.881 4，P=0.001 7）。

表 4　喷浆玉米皮代谢能预测方程

Table 4　Prediction equations of metabolizable energy of corn gluten feed solubles

方程 Equations	决定系数 R^2	P 值 P-value
AME=-0.230 NDF+16.483	0.842 2	0.003 6
AME=-0.233 NDF+0.191 CP+12.652	0.939 8	0.003 5
AME=-0.215 NDF+0.229 CP+0.980 EE+8.835	0.981 2	0.004 4
AMEn=-0.229 NDF+16.636	0.874 2	0.002 0
AMEn=-0.232 NDF+0.152 CP+13.586	0.939 2	0.003 7

AMEn=-0.214 NDF+0.188 CP+0.924 EE+9.989	0.977 8	0.005 6
TME=-0.220 NDF+17.525	0.850 7	0.003 1
TME=-0.223 NDF+0.165 CP+14.219	0.930 8	0.004 8
TME=-0.204 NDF+0.203 CP+1.000 EE+10.327	0.978 1	0.005 4
TMEn=-0.219 NDF+16.940	0.881 4	0.001 7

3 讨 论

本试验测定的喷浆玉米皮 CP 和 CF 含量平均值分别为 20.8%和 11.0%，按照国际饲料分类方法，部分为能量饲料，部分为蛋白质饲料。喷浆工艺能够较大提升玉米皮的营养价值，喷浆与不喷浆差异较大。王伟[4]测定的不喷浆与喷浆玉米皮的 CP 含量分别为 11.6%与 18.4%。典姣姣[5]测定的喷浆玉米皮 CP 为 17%~18%，CF 含量为 7.1%。林谦等[6]测定的 2 种喷浆玉米皮 CP 的含量分别为 19.90%和 17.71%，CF 的含量分别为 11.73%和 11.21%。这些与本试验测定的喷浆玉米皮 CP 和 CF 含量接近，但 Anderson 等[9]报道喷浆玉米皮 CP 含量为 15.7%。可见，喷浆玉米皮的 CP 含量高于不喷浆的玉米皮，不同来源的喷浆玉米皮 CP 含量变异较大，主要原因可能是加工工艺不同以及不同喷浆玉米皮中玉米皮和玉米浆所占的比例不同所导致。

本试验评定出肉鸭喷浆玉米皮的 AME、AMEn、TME 和 TMEn 的平均值分别为 6.36，6.58，7.83 和 7.29 MJ/kg，低于成年公鸡豆粕的 AME（10.58 MJ/kg）。章世元等[10]评定了玉米皮在母鸡上的 AME 为 2.32 MJ/kg，远低于喷浆玉米皮的 AME，喷浆工艺提高了 CP 含量的同时也提高了 AME，玉米浆中含有丰富的蛋白质[11]。王伟[4]评定的蛋公鸡和蛋母鸡喷浆玉米皮 AME 分别为 8.26 和 7.55 MJ/kg；王照群[12]测定的喷浆玉米皮 AME 为 8.12 MJ/kg，高于与本试验测定的测定值，而王红玉[2]评定的蛋鸡喷浆玉米皮 AME 和 AME_n 分别为 5.40 和 5.04 MJ/kg，低于本试验的测定值。以上试验结果存在较大差异，进一步证实不同品种家禽因消化生理的不同对同类饲料原料的消化利用效率差异较大，不同品种家禽不能应用同一套饲料原料营养价值数据库；同时也证实了不同来源和批次的喷浆玉米

皮品质差异较大，可见，利用常规化学成分与代谢能之间的相关性，建立代谢能的化学成分预测方程是有必要的。

本试验结果表明，喷浆玉米皮的代谢能与NDF的含量呈极显著负相关，建立的最优TMEn的方程为：TMEn=-0.219 NDF+16.940（R^2=0.881 4，P=0.001 7）。章双杰等[13]建立了鹅非常规饲料的TME的预测方程为：TME=12.21-0.23 CF（R^2=0.82），说明CF影响能量利用率及其他营养物质的利用。Wan等[14]建立了小麦加工副产物的肉鸭TME的预测方程为：TME=-0.17 NDF+0.98 EE-0.27 CP+19.31（R^2=0.99），NDF是最优预测因子，与TME呈显著负相关，EE作为提供能量的重要来源引入能够提高方程的准确性。宋代军等[15]建立了纤维饲料对天府肉鸭的TME的预测方程为：TME=10.37+0.22 NDF-1.02 GE-1.58 Ash （R^2=0.99），发现纤维成分的含量与代谢能呈极显著负相关，NDF作为第一因子的预测方程准确性最高。从以上研究结果可看出，本试验选择NDF作为预测因子，从回归方程的R^2和P值可看出，本试验的预测方程具有一定的可靠性和参考意义。

4 结 论

① 喷浆玉米皮的化学组分中EE含量变异最大，其次是CF和CP含量，部分属于能量饲料，部分属于蛋白质饲料。

② 喷浆玉米皮的AME、AMEn、TME和TMEn的平均值分别为6.36、6.58、7.84和7.29 MJ/kg。

③ 喷浆玉米皮TMEn的最优预测方程为：TMEn=-0.219 NDF+16.940（R^2=0.881 4，P=0.001 7）。

参考文献：

[1] 王喜秋,孙旸.玉米淀粉生产工艺水中蛋白的回收利用[J].北京农业,2014(27):192–193.

[2] 王红玉.蛋鸡玉米加工副产物营养价值的评定[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2016.

[3] 中国饲料数据库.中国饲料成分及营养价值表(2014年第25版)[J].中国饲料,2014(21):30–39.

[4] 王伟.尼克粉公母鸡饲料营养价值评定的比较研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2012.

[5] 典姣姣,黄亮,董贞,等.喷浆玉米皮混菌固态发酵饲料的研究[J].饲料研究,2016(8):51–54.

[6] 林谦,戴求仲,蒋桂韬,等.玉米及其加工副产品的营养价值评定[J].中国饲料,2013(4):18–21.

[7] SIBBALD I R.Measurement of bioavailable energy in poultry feedingstuffs:a review[J].Canadian Journal of Animal Science,1982,62(4):983–1048.

[8] 呙于明.家禽营养学[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2016.

[9] ANDERSON P V,KERR B J,WEBER T E,et al.Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2012,90(4):1242–1254.

[10] 章世元,谢月华,李燕舞,等.玉米深加工副产品饲料营养价值的确定[J].中国畜牧杂志,2007,43(5):59–61.

[11] 李玫.DDGS 与其他玉米副产品的差异[J].饲料广角,2006(16):31–33.

[12] 王照群.玉米及加工副产品加酶前后黄羽肉鸡有效能和可利用氨基酸评定[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2012.

[13] 章双杰,郭军,汤青萍,等.鹅对 11 种非常规饲料代谢能和纤维利用率的研究[J].动物营养学报,2011,23(11):1925–1931.

[14] WAN H F,CHEN W,QI Z L,et al.Prediction of true metabolizable energy from chemical composition of wheat milling by-products for ducks[J].Poultry Science,2009,88(1):92–97.

[15] 宋代军,王康宁,周安国,等.用纤维等饲料成分预测鸭饲料 TME 的研究[J].四川农业大学学报,2000,18(1):65–67.

Metabolizable Energy Evaluation of Corn Gluten Feed with Solubles in Meat Ducks

SHU Weicheng ZENG Qiufeng* DING Xuemei BAI Shiping WANG Jianping ZHANG Keying[1]

(*Key Laboratory for Animal Disease Resistance Nutrition of the Ministry of Education, Institute of Animal*

*Corresponding authors: ZENG Qiufeng, professor, E-mail: zqf@sicau.edu.cn; ZHANG Keying, professor, E-mail: zkeying@sicau.edu.cn (责任编辑 武海龙)

Nutrition, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: This study was conducted to evaluate the metabolizable energy of corn gluten feed with solubles in Cherry Valley meat ducks, and further to establish the prediction equations for its metabolizable energy value based on chemical composition. Sixty 56-day-old Cherry Valley meal meat ducks with body weight of (3.3±0.3) kg were randomly allotted into 6 groups with 10 replicates per group and 1 duck per replicate, and one group was allocated as the endogenous group. The true metabolizable energy (TME) method was used, meat ducks were force-fed with 2% body weight of corn gluten feed with solubles after 48 h of fasting, and all excretion of each duck was collected with bags for 48 h after force-fed. The results showed that the contents of ether extract and crude fiber of chemical composition in corn gluten feed with solubles presented a large coefficient of variation. Some samples of corn gluten feed with solubles belonged energy feeds, and some belonged to protein feeds according to international feed classification method. The apparent metabolizable energy (AME), nitrogen-corrected apparent metabolizable energy (AMEn), TME, and nitrogen-corrected true metabolizable energy (TMEn) of corn gluten feed with solubles were (6.36±1.61), (6.58±1.57), (7.84±1.54) and (7.29±1.50) MJ/kg, respectively. The best TMEn prediction equation of corn gluten feed with solubles was TMEn=-0.219 NDF+16.940 (R^2=0.881 4， P=0.001 7）. These results suggested that there is a wide change of AME, AMEn, TME and TMEn of corn gluten feed with solubles; the determinant coefficient (R^2) of prediction equation of TMEn established by chemical compositions of corn gluten feed with solubles is larger, it shows that the equation has strong reliability and reference significance.

Key words: corn gluten feed with solubles; meat ducks; metabolizable energy; prediction equation